

ENGRAIS AZOTES 2019

L'élément azote est l'un des constituants des acides aminés et des protéines ainsi que de la chlorophylle qui contrôle la photosynthèse.

Les plantes doivent s'alimenter en azote à partir du sol car le [diazote](#) atmosphérique n'est pas, en général, assimilé directement par les plantes (sauf par les légumineuses). L'azote présent dans les sols sous forme d'ions nitrate (NO_3^-) est directement assimilable (effet rapide) mais il est facilement entraîné, par les eaux de pluie, par lessivage. Par contre l'azote sous forme d'ions ammonium (NH_4^+) qui se lie électrostatiquement aux argiles du sol, chargées négativement, est fixé dans le sol. Pour être assimilable par les plantes (sauf pour le riz dont la plante peut assimiler directement l'ion ammonium) l'ion ammonium doit être préalablement oxydé en ion NO_3^- par des bactéries (nitrosomas, nitrobacter) contenues dans le sol, en présence du [dioxygène](#) de l'air (effet retard).

Dans les plantes, l'ion nitrate est transféré aux feuilles où, en présence de nitrate réductase, il est réduit en ion ammonium et métabolisé en ion amide NH_2^- , qui conduit à la formation des acides aminés.

L'humus a une teneur de 5 % en azote organique en grande partie non assimilable. Chaque année, 1 à 2 % de cet azote (soit 40 à 80 kg de N/ha/an) passe à l'état NO_3^- , c'est la minéralisation. Une partie du NO_3^- présent dans l'humus (soit environ 30 kg de N/ha/an) est transformé par des microbes anaérobies en NO_2^- et N_2 (c'est la dénitrification).

Les besoins en N, par hectare, pour une production de blé de 70 quintaux sont, en moyenne, de 250 kg. Seuls, 210 kg sont consommés, car il y a, en particulier, 20 kg de dénitrification. Sur cette consommation, 155 kg proviennent des engrais, 65 kg d'azote organique, 30 kg d'apports naturels (pluies...).

Fixation du diazote de l'air par les plantes : d'après La Recherche, n°199, mai 1988.

Quelques plantes (fougère Azolla en Asie, légumineuse Sesbania Rostrata en Afrique) en association avec des micro-organismes (bactéries du genre Rhizobium) pour S. Rostrata peuvent fixer le diazote de l'air et être utilisées comme « engrais vert » pour la culture du riz. A l'échelle mondiale on estime que 75 millions de t de N_2 sont ainsi accumulées soit l'équivalent de 160 millions de t d'engrais chimiques. S. Rostrata peut fixer 200 à 300 kg de N_2 par ha en 50 jours et permet de faire passer le rendement en riz de 2 à 4 t/ha ce qui équivaut à un apport d'engrais chimiques de 60 à 80 kg.

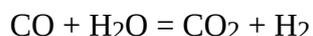
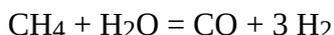
Le trèfle fixe 150 kg de N/hectare/an, la luzerne 180 kg de N/ha/an.

Matières premières

Le [gaz naturel](#) fournit, en 2015, dans le monde, 69 % de l'[ammoniac](#) nécessaire à la fabrication des engrais azotés. Le [charbon](#) et le gaz de cokerie comptent pour 29 % (à 95 % en Chine), le fuel ou le naphtha pour 2 %.

Fabrication industrielle

Elle nécessite la production d'ammoniac (voir les chapitres consacrés au [dihydrogène](#) et à l'[ammoniac](#)) lui-même obtenu par production de dihydrogène obtenu principalement par reformage à la vapeur d'eau du méthane du gaz naturel puis conversion du monoxyde de carbone selon les équations suivantes :



Le [dioxyde de carbone](#) est récupéré si de l'urée est fabriquée.

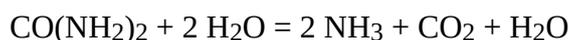
L'ammoniac est ensuite obtenu par synthèse catalytique avec un catalyseur à base de fer, le [diazote](#) (de l'air) étant introduit lors de la fabrication du dihydrogène. Environ 82 % de l'ammoniac produit dans le monde est utilisé pour la fabrication d'engrais.

Composés chimiques fabriqués

Les produits suivants sont utilisés comme engrais azotés :

Ammoniac : NH_3 . Il est employé sous forme de gaz liquéfié sous pression injecté dans le sol. Cette utilisation directe de l'ammoniac est surtout pratiquée aux États-Unis où elle représente, en 2017, 24,3 % de la fertilisation azotée. Elle n'est pas employée en France.

Urée : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Elle est obtenue par action du [dioxyde de carbone](#) issu du reformage, sur l'[ammoniac](#), sous pression (140 à 250 bar), à 190°C (environ 35 % l'ammoniac produit dans le monde est utilisé pour fabriquer de l'urée). Il se forme du carbamate d'ammonium, $\text{NH}_2\text{-CO}_2\text{-NH}_4$, qui est déshydraté en urée. Les unités de production ont des capacités de 1 000 à 2 000 t/jour. C'est l'engrais azoté le plus riche en N avec une teneur de 46 %. Son action a lieu par hydrolyse lente et formation d'ammoniac selon l'équation suivante :



En France, l'urée est utilisée (surtout dans le Sud-Ouest et en Alsace, régions productrices de maïs) seule ou en solutions 50/50 avec NH_4NO_3 . C'est le principal engrais azoté utilisé dans le monde. Elle convient aux pays tropicaux (les ammonitrates sont trop solubles) en particulier pour la culture du riz mais aussi aux régions froides ou tempérées, sauf dans les sols sablonneux ou très calcaires. 90 % de l'urée est destinée à la production d'engrais. Les 10 % restants sont utilisés pour fabriquer des colles urée-[formol](#), de la mélamine, des dérivés isocyanuriques, dans l'alimentation animale, l'extraction des paraffines...

La production mondiale est, en 2018, comptée en N, de 79,1 millions de t. Elle fait l'objet d'un important commerce international, avec 22,2 millions de t de N, en 2018.

Nitrate d'ammonium (dénommé ammonitrate) : NH_4NO_3 . Il est préparé, à 160°C, sous 3 bar, par neutralisation de l'[acide nitrique](#) par l'[ammoniac](#). L'acide nitrique est lui-même préparé par oxydation catalytique de l'ammoniac sur grilles de [platine](#) (voir le chapitre consacré à [HNO₃](#)). Les unités de production ont des capacités de 1 500 à 3 000 t/jour.

Le titre en N (35 % maximum) varie à l'aide d'une charge, en général [calcaire](#). Du nitrate de magnésium (1,6 %) est ajouté pour stabiliser NH_4NO_3 sous sa forme orthorhombique IV

(changement de forme à 32°C) et éviter la désagrégation des granulés, puis la prise en masse qui augmente les risques de détonation.

Le nitrate d'ammonium est utilisé dans la fabrication d'engrais sous forme d'engrais NP, NPK, de solutions urée-nitrate et surtout solide comme engrais simple, dénommé ammonitrate. C'est l'engrais azoté le plus utilisé en France, où il représente, en 2017-18, 36 % de la fertilisation azotée.

En 2018, la production mondiale, comptée en N, est de 16,3 millions de t. Une partie de la production est employée en utilisation directe comme engrais, une autre partie pour préparer des solutions d'engrais et enfin une dernière partie dans des applications industrielles, en dehors de l'industrie de engrais, comme, par exemple, l'industrie de explosifs. Le commerce international a porté sur 3,1 millions de t, comptées en N.

Sulfate d'ammonium : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. C'est un sous-produit des fabrications de caprolactame, acrylonitrile, [coke](#) sidérurgique mais il est également synthétisé à partir d'[ammoniac](#) et d'[acide sulfurique](#). En 2018, la production mondiale est de 5,6 millions de t comptées en N et le commerce international de 2,8 millions de t, comptées en N.

Phosphates d'ammonium (engrais binaire NP) : diammonique (DAP) : $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ et monoammonique (MAP) : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Ils sont obtenus par neutralisation de NH_3 par [\$\text{H}_3\text{PO}_4\$](#) (voir les [engrais phosphatés](#)). La production mondiale de phosphate diammonique est, en 2018, de 6,1 millions de t comptées en N, celle de phosphate monoammonique de 3,1 millions de t comptées en N.

Divers : nitrate de sodium naturel du Chili, cyanamide calcique (CaCN_2), nitrate de potassium (engrais binaire NK, par attaque à l'[acide nitrique](#) de [KCl](#)), chlorure d'ammonium (utilisé surtout en riziculture au Japon et en Inde), hydrogénocarbonate d'ammonium (utilisé en Chine), nitrate de calcium et d'ammonium.

Une partie de la production d'engrais azotés est commercialisée sous forme de solutions urée – nitrate d'ammonium.

Évolution de la production d'engrais azotés au cours des XIX et XX^{ème} siècle.

en milliers de t de N

Années	Nitrate du Chili	Guano	Sulfate d'ammonium sous produit de la distillation du charbon	Cyanamide calcique	Ammoniac synthétique	Total
1850	5	–	0	0	0	5
1860	10	70	0	0	0	80
1880	50	30	0	0	0	80
1900	220	20	120	0	0	360
1920	410	10	290	70	150	950
1940	200	10	450	290	2 150	3 100
1960	200	–	950	300	9 540	10 990
1980	90	–	970	250	59 290	60 600
2000	120	–	370	80	85 130	85 700

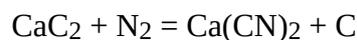
Source : EFMA

Le nitrate de sodium du Chili est exploité depuis 1804 dans le désert d'Atacama situé initialement dans 3 pays : Chili, Pérou et Bolivie. Il contient de 1 à 5 % de N. Il est extrait par lixiviation à l'eau chaude. Après la guerre du salpêtre (1879-1884), le Chili a annexé le gisement.

Le guano, formé par les déjections d'oiseaux, s'est accumulé (jusqu'à 60 m d'épaisseur) par exemple sur un ensemble d'îles au large des côtes péruviennes. Sa teneur est de 14 % de N et 14 % de P₂O₅.

Le sulfate d'ammonium était initialement produit lors de la fabrication du [gaz manufacturé](#) (ou gaz à l'eau) utilisé comme gaz de ville ou d'éclairage. Ce gaz contient de 0,7 à 1,5 % d'ammoniac qui est précipité en sulfate d'ammonium. Actuellement, il est récupéré lors de l'élaboration du [coke](#).

La cyanamide calcique est fabriquée par réaction du carbure de calcium avec le [diazote](#) de l'air, vers 1100°C, selon l'équation suivante :



Productions

Dans le monde, en 2018 : 119,615 millions de t de N, dans l'Union européenne : 11,390 millions de t de N.

en milliers de t de N			
Chine	32 743	Canada	3 822
Inde	13 337	Égypte	3 700
États-Unis	11 265	Pakistan	3 063
Russie	10 421	Qatar	2 937
Indonésie	4 022	Arabie Saoudite	2 526

Source : FAO

Principaux pays exportateurs : en 2018, sur un total de 43,361 millions de t de N dont 9,360 millions de t de N pour l'Union européenne.

en milliers de t de N			
Russie	7 081	États-Unis	1 826
Chine	4 948	Belgique	1 588
Qatar	2 289	Iran	975
Arabie Saoudite	2 139	Lituanie	903
Pays Bas	1 964	Malaisie	867

Source : FAO

Principaux pays importateurs : en 2018, sur un total de 42,322 millions de t de N dont 11,864 millions de t de N pour l'Union européenne.

en milliers de t de N			
Brésil	4 598	Turquie	1 376
Inde	3 894	Mexique	1 297
États-Unis	2 874	Australie	1 277
France	1 990	Espagne	1 106
Thaïlande	1 483	Allemagne	963

Source : FAO

Situation française

En t de N.

Production, en 2018 : 579 589 t de N.

Commerce extérieur : en 2018, en t de N.

Ammonitrates sous toutes formes y compris en présence de carbonate de calcium, hors solutions avec l'urée :

- Exportations : 235 569 t vers l'Allemagne à 15 %, les Pays Bas à 12 %, la Belgique à 11 %, le Royaume Uni à 8 %.
- Importations : 358 783 t de Belgique à 50 %, des Pays Bas à 14 %, d'Espagne à 12 %, de Lituanie à 11 %.

Sulfate d'ammonium :

- Exportations : 9 719 t vers l'Allemagne à 56 %, la Suisse à 5 %.
- Importations : 147 258 t des Pays Bas à 43 %, de Belgique à 31 %, d'Espagne à 17 %.

Urée sous toutes formes, hors solutions avec le nitrate d'ammonium :

- Exportations : 119 997 t vers l'Espagne à 71 %, le Royaume Uni à 9 %.
- Importations : 783 049 t d'Égypte à 27 %, d'Algérie à 23 %, de Russie à 12 %, des Pays Bas à 9 %.

Solutions urée – nitrate d'ammonium :

- Exportations : 413 t vers la Belgique à 53 %, le Royaume Uni à 34 %, l'Allemagne à 12 %.
- Importations : 715 595 t des États-Unis à 35 %, de Russie à 23 %, des Pays Bas à 14 %, de Trinidad et Tobago à 11 %, de Lituanie à 8 %.

Consommation, en 2017-18 : 2,248 millions de t de N dont :

- Ammonitrate : 806 milliers de t de N (2 660 milliers de t de produit)
- Solutions : 699 milliers de t de N (2 341 milliers de t de produits)
- Urée : 483 milliers de t de N (1 050 milliers de t de produits)
- Autres simples : 67 milliers de t de N (299 milliers de t de produits)
- NK et NPK : 103 milliers de t de N (698 milliers de t de produits)
- DAP-MAP : 49 milliers de t de N (278 de t de produits)
- Autres NP : 35 milliers de t de N (185 milliers de t de produits)
- Autres : 6 milliers de t de N (108 milliers de t de produits).

Consommation à l'hectare : 85,9 kg de N.

Utilisations

Consommations par produits :

Engrais	en milliers de t de N					
	Monde 1973-74	Monde 2018	Chine, en 2018	Inde, en 2018	États-Unis, en 2018	France, en 2018
Urée	8 330	49 857	7 180	14 452	2 798	431
Ammonitrate	7 300	6 135	0	0	206	480

Phosphates d'ammonium	1 023	7 513	1 800	1 658	644	55
Ammoniac	3 580	3 576	0	0	2 762	0
Solutions	2 120	5 871	6	0	3 055	706
Sulfate d'ammonium	2 760	4 091	51	115	342	22
Ternaires NPK	6 100	18 320	13 095	441	615	83
Total	39 220	103 705	23 316	17 638	11 297	2 137

Source : IFA

Consommation par pays : en 2018. Monde : 108,658 millions de t de N, Union européenne : 11,031 millions de t de N.

en milliers de t de N

Chine	28 306	Canada	2 769
Inde	17 628	France	2 248
États-Unis	11 644	Vietnam	1 573
Brésil	5 120	Russie	1 542
Pakistan	3 447	Turquie	1 528
Indonésie	3 237	Thaïlande	1 516

Source : FAO

Problèmes

Sécurité : le nitrate d'ammonium est un composé qui dans certaines conditions peut exploser. En effet, le mélange de NH_4NO_3 avec 6 % de fuel est l'explosif industriel le plus utilisé, l'amorçage étant réalisé avec de la dynamite. Par ailleurs, au-dessus de 195°C , NH_4NO_3 risque de se décomposer avec explosion.

- Le 21 septembre 1921, dans l'usine BASF d'Oppau, en Allemagne, l'explosion de 5 400 t de sel double $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-(NH}_4)_2\text{SO}_4$ a fait de 500 à 600 morts.
- Le 16 avril 1947, l'explosion de 2 bateaux à Texas City a fait 561 morts puis, plus tard, d'un bateau à Brest, 22 morts : les granulés de NH_4NO_3 étaient enrobés de 1 % de cire combustible.
- Du nitrate d'ammonium a été utilisé lors de l'attentat d'Oklahoma City, aux États-Unis, le 19 avril 1995 qui a fait 167 morts.
- Le 21 septembre 2001, à 10h17, 300 à 400 t de nitrate d'ammonium ont explosé à l'usine AZF de Toulouse entraînant la destruction de l'usine, la mort de 30 personnes (22 dans l'usine et 8 à l'extérieur) et plus de 2 000 blessés.
- Le 4 août 2020, explosion dans le port de Beyrouth de 2 750 t de nitrate d'ammonium avec plus de 200 morts.

Économiques : le prix de revient des engrais azotés est lié au coût du [gaz naturel](#) (50 % du prix de revient des ammonitrates). Les pays producteurs de gaz naturel (Pays du Golfe, Russie) ont développé une industrie de l'ammoniac extrêmement concurrentielle.

Écologiques : les ions nitrates peuvent entraîner une [pollution des eaux](#), voir le chapitre consacré à l'[eau](#).